

MEC-200

Session 3

Liaisons, architectures atomiques et défauts dans les cristaux

Références
Chapitre 2 et 3



MEC-200

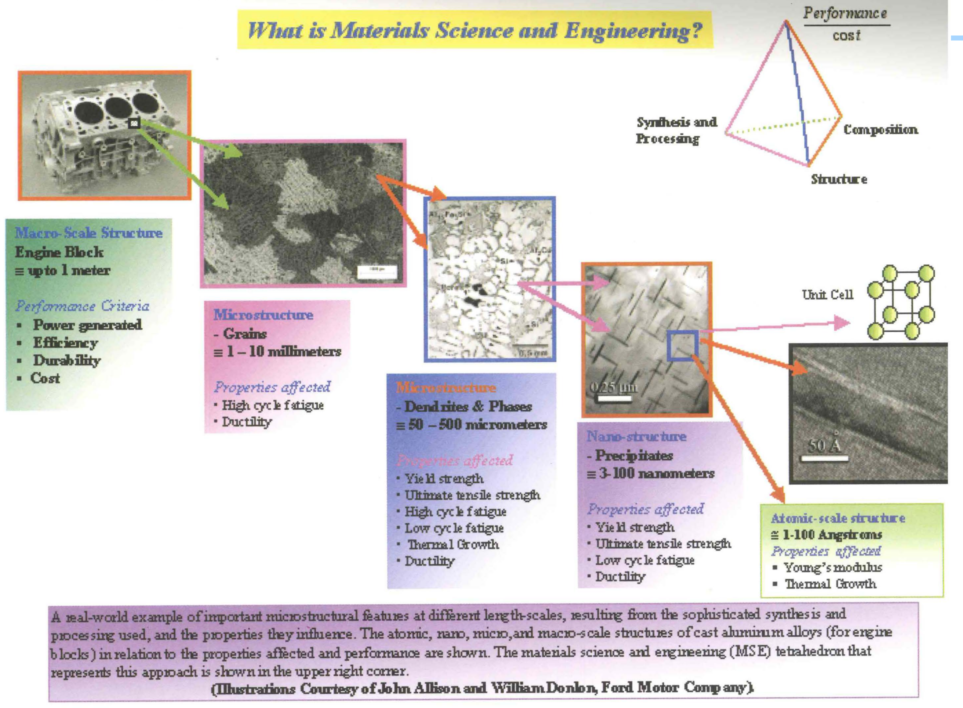
Pourquoi?

1. Choix des matériaux
2. Propriétés
3. Peut on les modifier? Les contrôler?
4. Il faut donc comprendre de quoi elles dépendent.
5. De quoi dépends le module d'élasticité? Peut on le modifier pour un matériau donné
6. De quoi dépends le coefficient de dilatation thermique?
7. Pourquoi un polymère a une température de fusion plus basse qu' une céramique?
8. Pourquoi certains métaux sont plus ductiles que d' autres?
9. Comment ce fait-il qu'un acier de même composition chimique puisse avoir des propriétés différentes? Plus ou moins ductile?
10. Comment peut on avoir des céramiques ou des polymères de différentes opacités?
11. Propriétés dépendent de la structure et microstructure



MEC-200

Pourquoi?



Source: *D.R. Askerland, P.P.Phulé The science and Engineering of Materials*



MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

Tableaux périodique



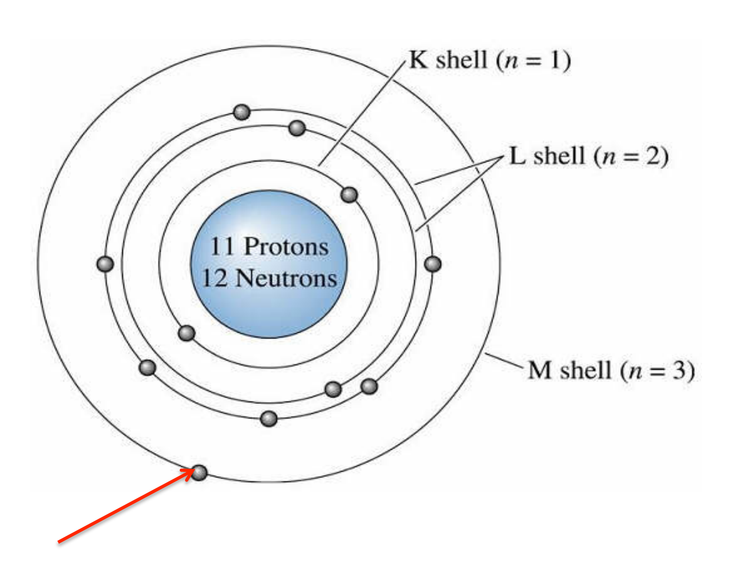


MEC-200

Liaisons atomiques

Elétrons de Valence

Ceux qui occupent la couche externe



Electron de valence du sodium

Source: Callister- Materials Science and Engineering



MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



Liaisons atomiques

- ❑ Liaisons de forte intensité (primaires)
  - ➢ liaisons ioniques
  - ➢ liaisons covalentes
  - ➢ liaisons métalliques
- ❑ Liaisons de faible intensité (secondaires) : Van der Waals et pont hydrogène

Types de liaisons atomiques déterminent les propriétés fondamentales des matériaux

Exemple :
Fragilité --> matériaux covalents et ioniques
Ductilité ---> matériaux à liaison métallique

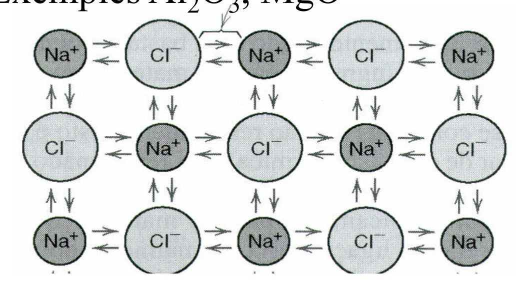


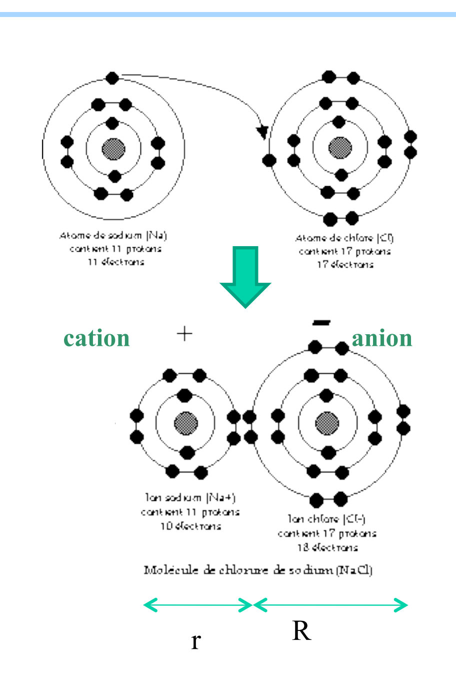
La liaison ionique

Transfert d'électron d'un atome (métallique) à un autre (non métallique)

- ❑ Perte de neutralité : ion positif (cation) et ion négatif (anions) : forte attraction
- ❑ Liaison forte (couche externe saturée) et non directionnelle
- ❑ Grande différence d'électronégativité entre eléments

- Exemple : NaCl (Na^+ Cl^-)
  Exemples Al_2O_3, MgO



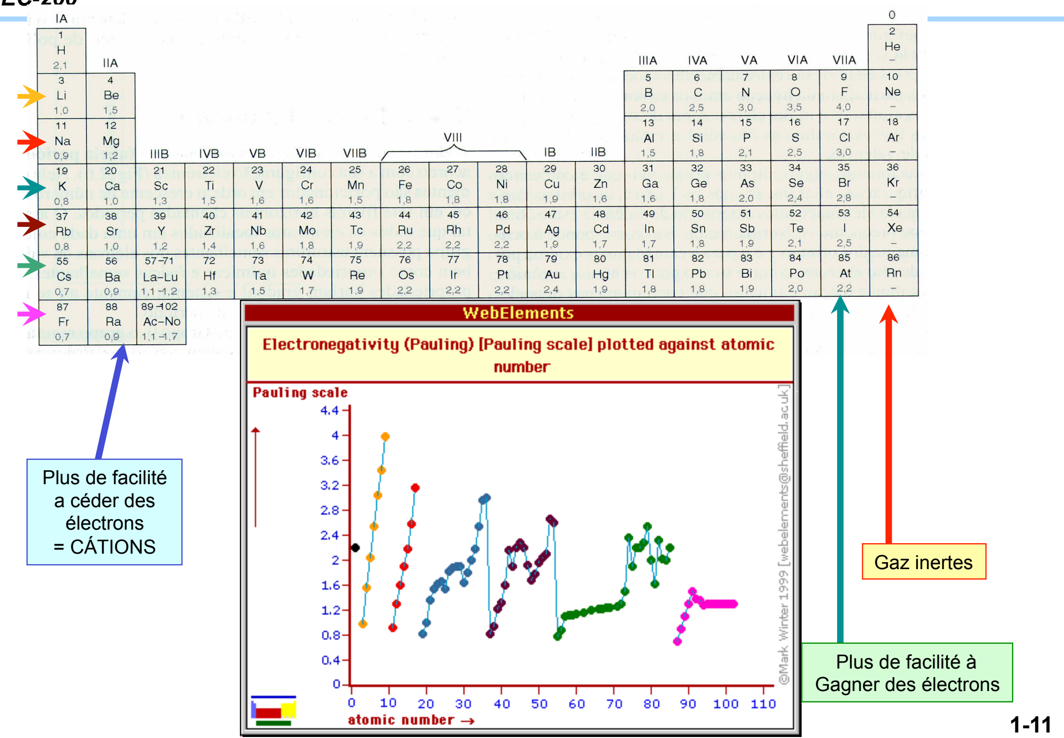


Source: Callister- Materials Science and Engineering



MEC-200

Eletronégativité





MEC-200

La liaison ionique

Tableau 2.1 Énergie de liaison des composés ioniques formés par l'hydrogène et les éléments de la colonne VIIB

Composé	Énergie de liaison (eV/mol)
HF	5,81
HCl	4,44
HBr	3,75
HI	3,06

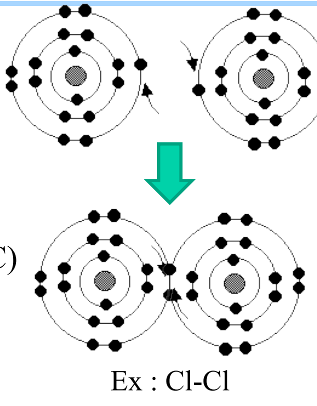
Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux

ÉTS
Le génie pour l'industrie
MEC-200

La liaison covalente

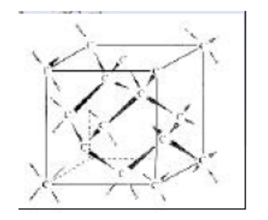
Mise en commun d'électrons de 2 atomes

- Liaison forte (couche externe saturée) et fortement directionnelle
- Forte énergie de liaison
- Liaison de type A-A (H-H ou Cl-Cl) ou A-B (H-C)
- Moins de différence d'électronégativité entre les éléments.

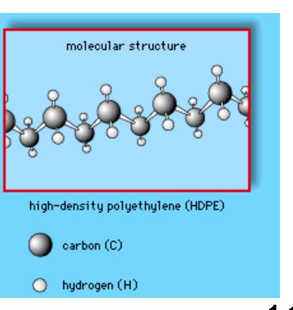


Ex : Cl-Cl

Ex: Diamant



Ex: polyéthylène $(C_2H_4)_n$



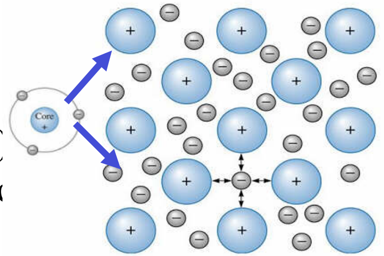


MEC-200

La liaison métallique

Électrons sont partagés entre ions positifs du réseau :

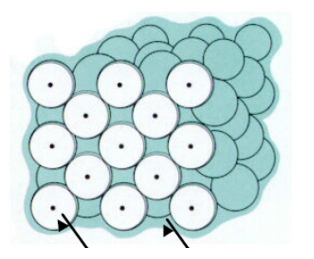
- Nuage d'électrons mobiles qui ne sont plus localisés entre les atomes (liaison covalente) ou sur un ion (liaison ionique) => Liaison non directionnelle



- Électrons peuvent se déplacer aisément sans briser la structures cristalline
  - ✓ bonne conduction
  - ✓ ductilité
- Énergie de liaison variable

  Mercure : $T_f = -39°C$

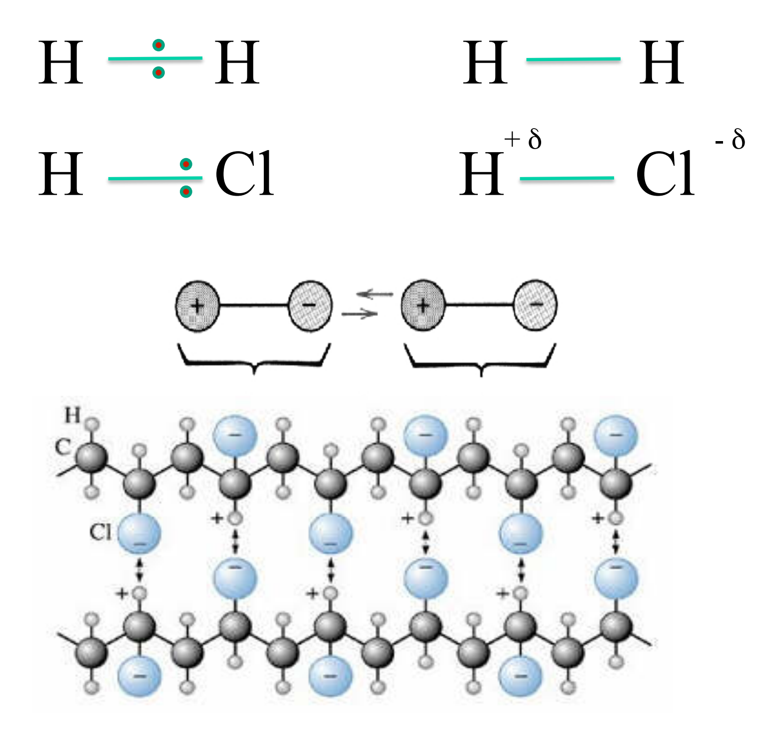
  Tungstène : $T_f = 3410°C$





MEC-200

Liaisons secondaires



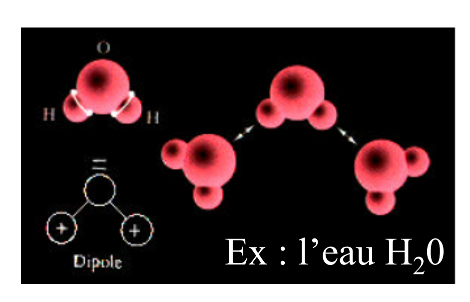


MEC-200

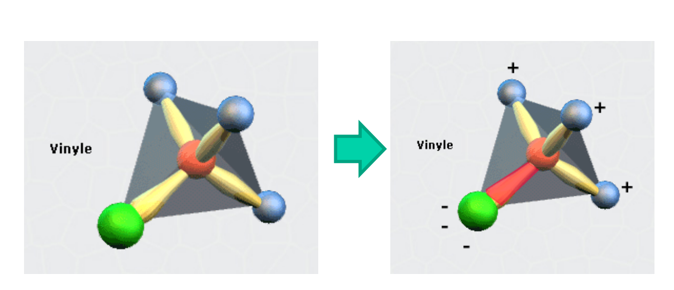
La « liaison » de Van der Walls

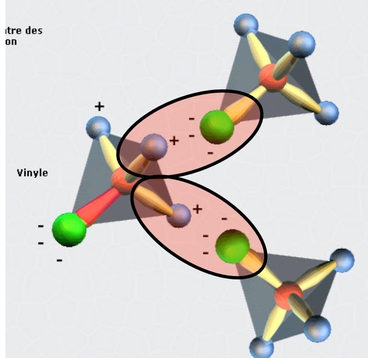
Liaison due à l'attraction entre les molécules polarisées de façon permanente ou induite

- Liaison de faible intensité
  - ✓ T_F bas
- Exemple : chlorure de vinyle (CH_2Cl)



Cl (vert) très électronégatif : attire les électrons => création d'un dipôle permanent.







MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

Liaisons et propriétés

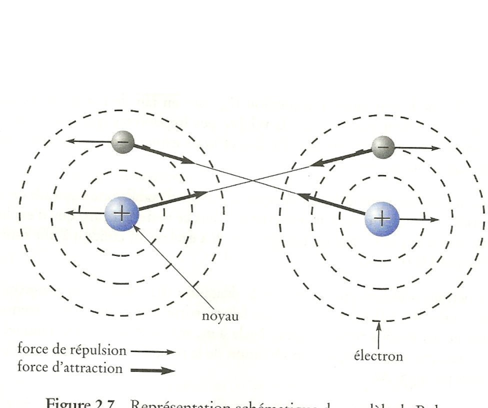
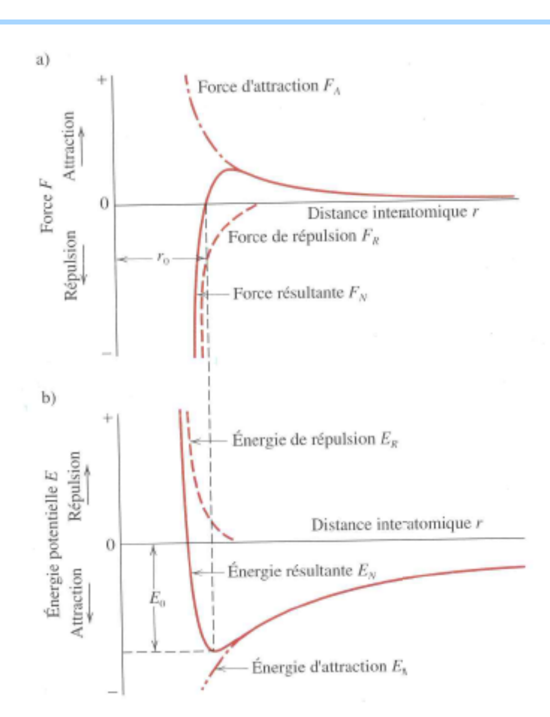


Figure 2.7 Représentation schématique du modèle de Bohr.



Source: Callister- Materials Science and Engineering

MEC-200

Liaisons atomiques

Bonding Energies and Melting Temperatures for Various Substances

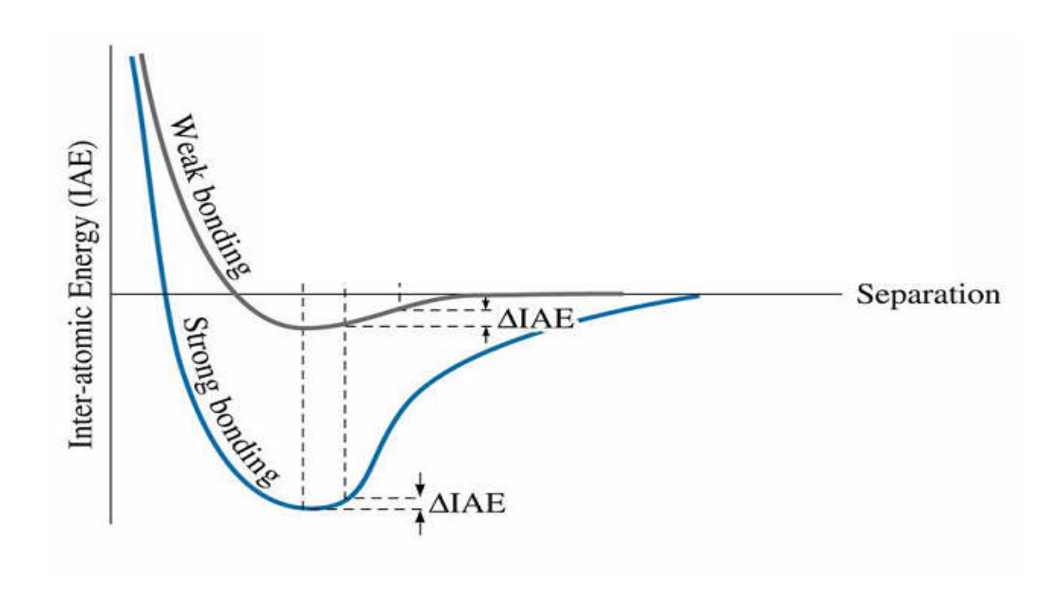
Bonding Type	Substance	Bonding Energy kJ/mol (kcal/mol)	Bonding Energy eV/Atom, Ion, Molecule	Melting Temperature (°C)
Ionic	NaCl	640 (153)	3.3	801
	MgO	1000 (239)	5.2	2800
Covalent	Si	450 (108)	4.7	1410
	C (diamond)	713 (170)	7.4	>3550
Metallic	Hg	68 (16)	0.7	−39
	Al	324 (77)	3.4	660
	Fe	406 (97)	4.2	1538
	W	849 (203)	8.8	3410
van der Waals	Ar	7.7 (1.8)	0.08	−189
	Cl_2	31 (7.4)	0.32	−101
Hydrogen	NH_3	35 (8.4)	0.36	−78
	H_2O	51 (12.2)	0.52	0

Source: Callister- Materials Science and Engineering



MEC-200

Liaisons et températures fusion et ebullition

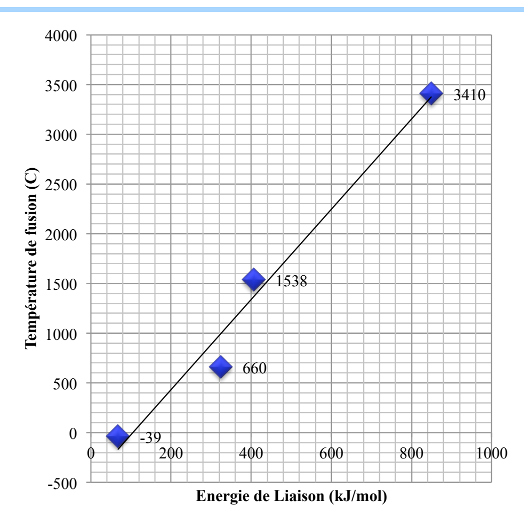


Source: D.R. Askerland, P.P.Phulé The science and Engineering of Materials



MEC-200

Exercice



Nous avons les données ci-dessous, quelle est la température de fusion du Mo si l' énergie de liaison est 675,4 kJ/mol?

Température de fusion (oC)

Linear (Température de fusion (oC))

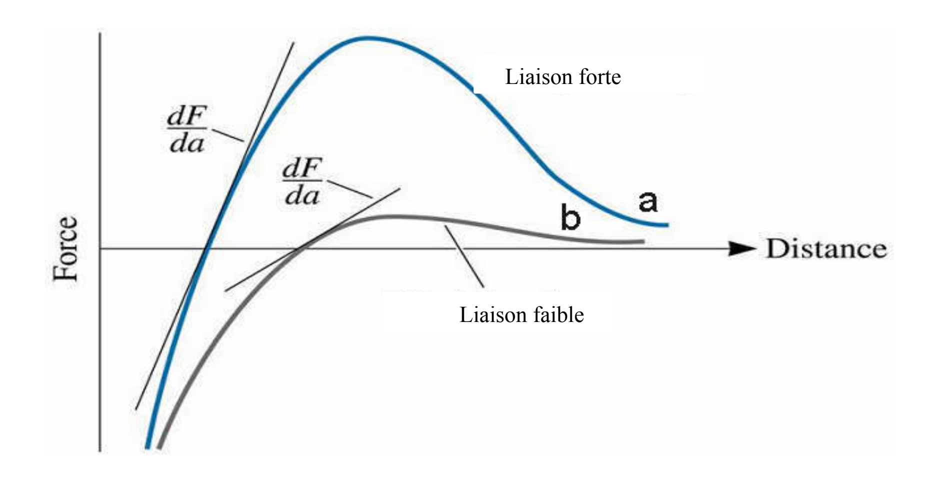
$$Température\ \ fusion\ = 4{,}64 energie - 520{,}2 \quad r^2 = 0{,}98$$

Element	Energie de liaison (kJ/mol)	Température de fusion (ºC)
Hg	68	-39
Al	324	660
Fe	406	1538
W	849	3410



MEC-200

Liaisons et module d'élasticité

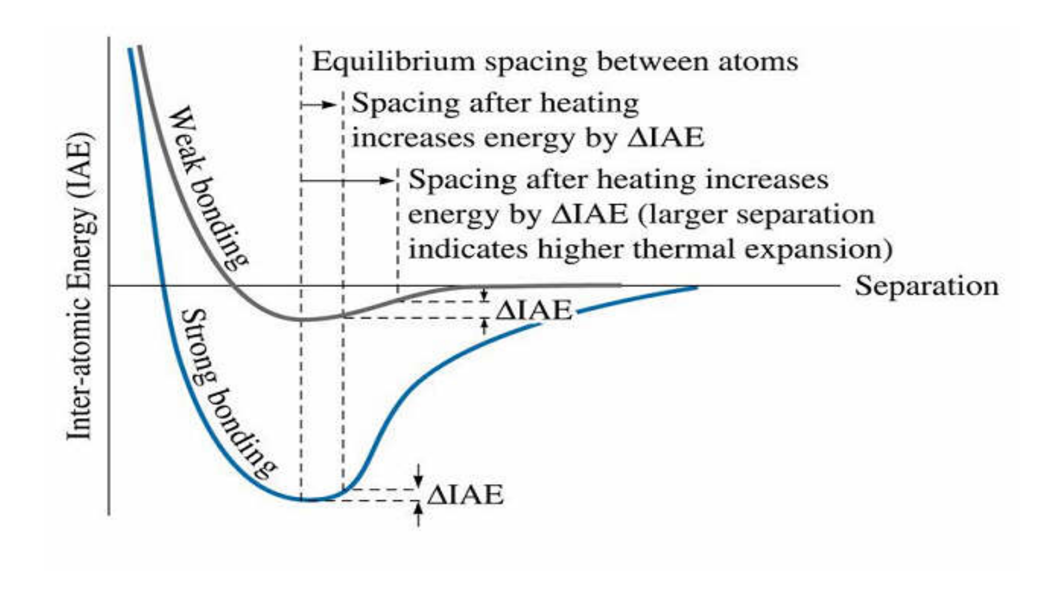


Source: Callister- Materials Science and Engineering



MEC-200

Liaisons et coefficient d' expansion



Source: *D.R. Askerland, P.P.Phulé The science and Engineering of Materials*



MEC-200

Liaisons et propriétés

Tableau 2.2 Principales caractéristiques des liaisons et propriétés qui en découlent

Type de liaison	Exemple et énergie de liaison (eV/at)	Nature de la liaison	Propriétés				
			T_f	E	α	σ	Ductilité
Covalente	Diamant (7,0)	Électrons partagés et localisés					
Ionique	NaCl (3,3)	Échange d'électrons; attraction électrostatique					
Métallique	Na (1,1) Cu (3,5) Ti (4,8)	Mise en commun d'électrons délocalisés					
Van der Waals	H_2 (0,01) CH_4 (0,1) Cl_2 (0,3)	Attraction dipolaire					

Source: *J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux*

Relation E-α et type de liaison

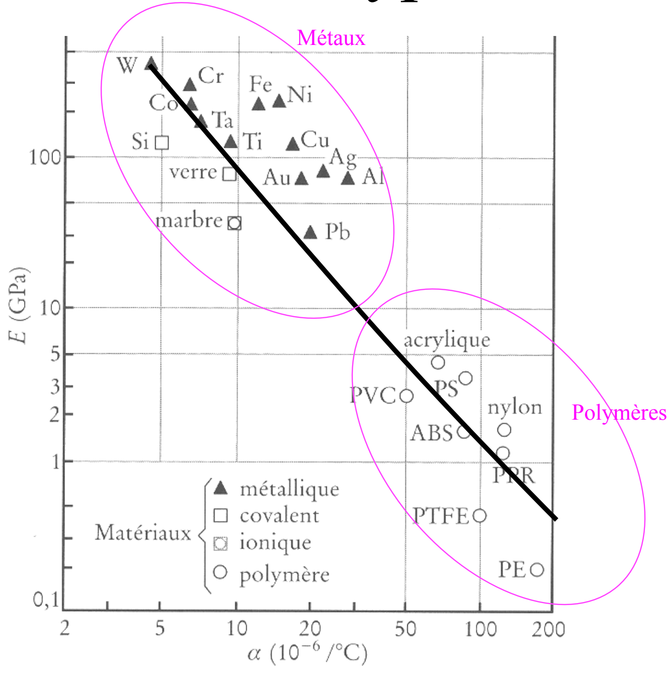


Figure 2.14 Relation entre le module d'Young E et le coefficient de dilatation linéique α de quelques matériaux.

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



Contraintes thermiques

- Contraintes thermique dues à la dilatation

En cas de chauffage,

- Si le matériau est libre de s'allonger => apparition de déformations

$$\varepsilon = \frac{L}{L_0} = \frac{L_0\left(1+\alpha\Delta T\right)-L_0}{L_0} = \alpha\Delta T$$

- Si le matériau est bloqué => apparition de contraintes

$$\sigma = E\alpha_1\left(T_0 - T\right) = E\alpha_1\Delta T$$

- En cas de chauffage non uniforme (local)→ choc thermique
  - Initiation
  - Propagation de fissure

  On définit : résistance au choc thermique RCT≈ Rm/ αE



MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

Les métaux

Les métaux sont donc un assemblage d'ions positifs dans un « gaz d'électrons »:

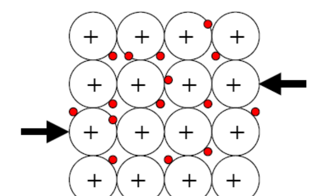
✓Liaisons métalliques

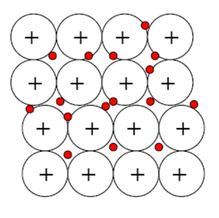
✓Structure cristalline

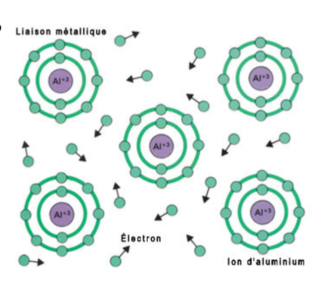
✓Bonnes conductivités électrique et thermique

✓Éclat métallique (interactions entre électrons et photons)

✓Bonne ductilité à cause de leur capacité de casser et de reformer des liaisons entre atomes sans briser la structure cristalline





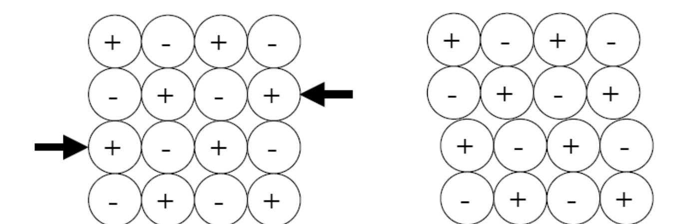


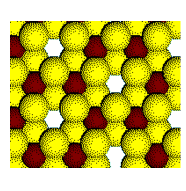


Les céramiques

Les céramiques présentent donc des liaisons fortes ioniques ou covalentes

- ✓ Bons isolateurs de chaleur (réfractaire) et d'électricité à cause du manque de mobilité d'électrons (pas d'e^- libres)
- ✓ Fragiles à cause de leur incapacité de casser et de reformer des liaisons sans briser la structure cristalline
- ✓ Rigides et dures, température de fusion élevée à cause de la force des liaisons ioniques et covalentes
- ✓ Souvent des oxydes, nitrures… Al_2O_3, MgO, TiN, TiC (Diamant , graphite et verre) (inertes chimiquement)







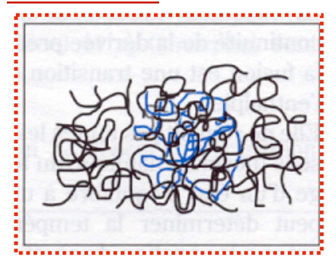
Les polymères

La cohésion des polymères est due à 2 types de liaisons :

- Liaisons covalentes fortes qui forment le squelette
- Liaisons secondaires (Van der Waals ou hydrogène) qui relient les chaînes entre elles

Propriétés :

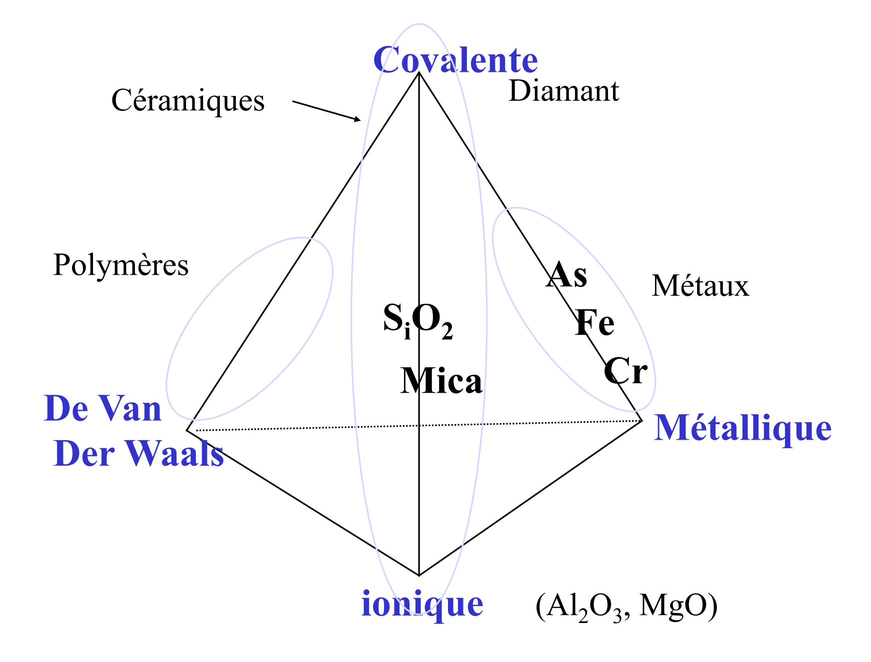
- ✓ Conductivité thermique faible
- ✓ Coefficient de dilatation important (10 à 100 supérieur au métaux)
- ✓ Faible limite d'élasticité et rigidité car propriétés contrôlées par les liaisons secondaires





MEC-200

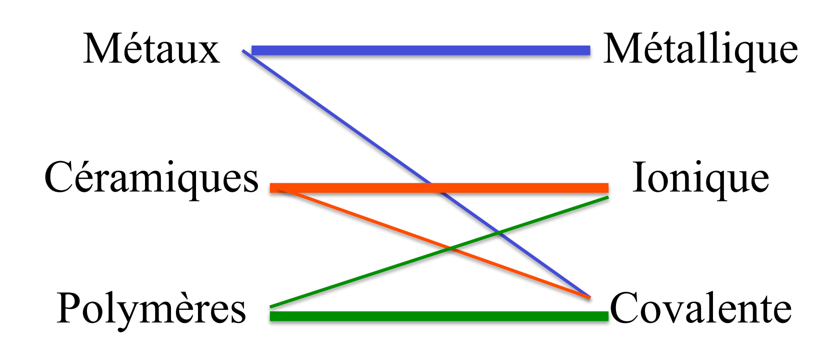
Caractère mixte des liaisons





MEC-200

*** À retenir par coeur ***

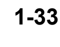


Liaisons fortes: Covalente, ionique , métallique
E élevé et α faible



Liaisons ioniques ou covalentes

Tableau 2.3 Caractéristiques de quelques matériaux : température de fusion, module d'Young et coefficient de dilatation linéique

Matériau	θ_f (°C)	E (GPa)	α ($10^{-6} \cdot °C^{-1}$)
Liaisons ioniques ou covalentes			
TiC	3180	315	7,4
SiC	>2800	480	4,7
MgO	2850	210	13,5
ZrO_2	2750	205	10,0
C (fibres)	>2500	400	- 
Al_2O_3	2050	380	8,8
SiO_2 (verre)	>1600	72	0,5

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



Liaisons métalliques

Matériau	θ_f (°C)	E (GPa)	α ($10^{-6} \cdot °C^{-1}$)
Liaisons métalliques			
Mo	2610	324	4,9
B	2030	400	8,3
Ti	1660	116	8,4
Fe	1535	210	11,8
Ni	1453	210	13,3
Cu	1083	110	16,5
Al	660	70	23,6
Mg	649	44	25,2
Zn	420	84	39,7
Pb	327	14	29,3
Sn	232	43	23,0

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



MEC-200

Liaisons faibles

Matériau	θ_f (°C)	E (GPa)	α ($10^{-6} \cdot °C^{-1}$)
Liaisons faibles (van der Waals, pont hydrogène)			
Polyéthylène b. d.	115	0,2	210
Polychlorure de vinyle	130	2,4	54
Époxy	-	2,4	72
Polyester	-	5,0	75
Aramide (fibres)	-	130	-
Os cortical	-	18	-
Bois (pin)	-	10	-

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux

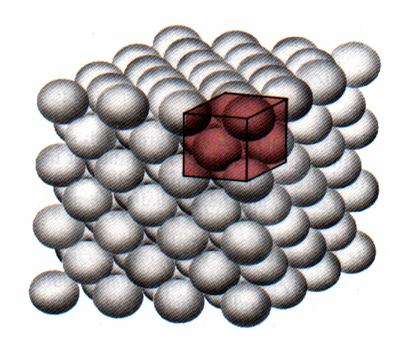


MEC-200

Plan du cours

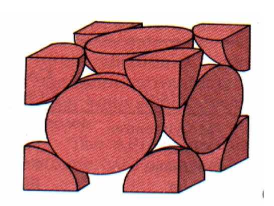
- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions

Les propriétés d’un matériau dépendent du type de liaison atomique, mais aussi de la structure cristalline et des défauts internes!





Sólide cristallin



Maille primitive

Source: W.D. Callister Jr. Science et Génie des Matériaux

Systèmes et réseaux cristallins

Un cristal :

⇒ 3 vecteurs a, b, c selon Ox, Oy et Oz

⇒ 3 angles α, β, γ

Maille primitive :

⇒ Un atome à chaque sommet formant un nœud du réseau

⇒ Les relation entre a, b, c et α, β, γ permettent de définir 7 systèmes cristallins différents (cubique, quadratique…)

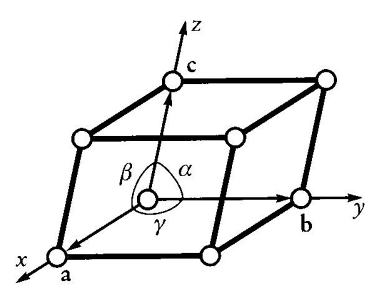


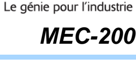
Mailles multiples

⇒ Nœuds supplémentaires :

- ⇒ Centre des bases
- ⇒ Centre de chacune des face
- ⇒ Centre de la maille

⇒ 14 réseau cristallins = réseaux de Bravais



Systèmes cristallins

z c β α γ x a b y

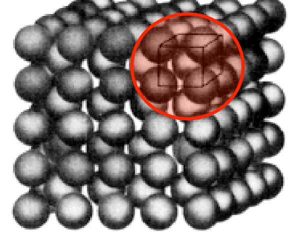
○ nœuds de la maille

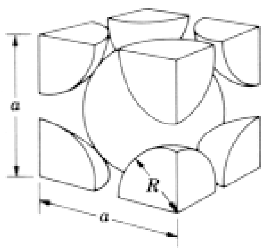
Système cristallin	Relations entre les axes	Relations entre les angles	Réseaux de Bravais			
			simple	à bases centrées	centré	à faces centrées
triclinique	a ≠ b ≠ c	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90°$				
monoclinique	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \gamma = 90° \neq \beta$				
orthorhombique	a ≠ b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$				
rhomboédrique	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$				
hexagonal	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = 90°$ $\gamma = 120°$				
quadratique	a = b ≠ c	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$				
cubique	a = b = c	$\alpha = \beta = \gamma = 90°$				

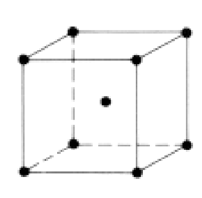
Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



Structure cubique centrée (CC)







Nombre d'atomes par maille $8*\frac{1}{8}+1=2\ atomes/maille$

Relation entre longueur de la maille (a) et rayon atomique (R) $a=\frac{4R}{\sqrt{3}}$

Nombre de coordination (1er voisin) : 8

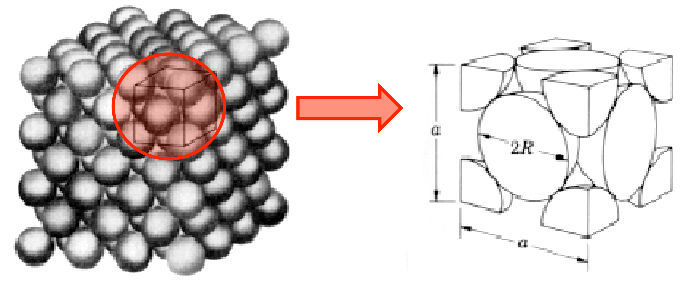
Compacité (C) $C=\frac{Volume\ atome\ d'une\ maille\ élementaire}{Volume\ total\ de\ la\ maille\ élémentaire}=\frac{V_s}{V_m}=0.68$

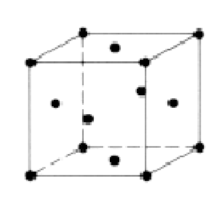
Masse volumique (ρ) $\rho=\frac{nM}{V_m N_A}$ $\begin{cases} n : \text{nombre d'atomes associés à chaque maille élémentaire} \\ M : \text{masse molaire de l'atome} \\ V_m : \text{Volume de la maille élémentaire} \\ N_A : \text{Nombre d'Avogadro } (6.023*10^{23}\ atomes/mol) \end{cases}$

Source: Callister- Materials Science and Engineering



Structure cubique faces centrées (CFC)





Nombre d'atomes par maille $8*\frac{1}{8}+6*\frac{1}{2}=4$

Relation entre longueur de la maille (a) et rayon atomique (R) $a=2R\sqrt{2}$

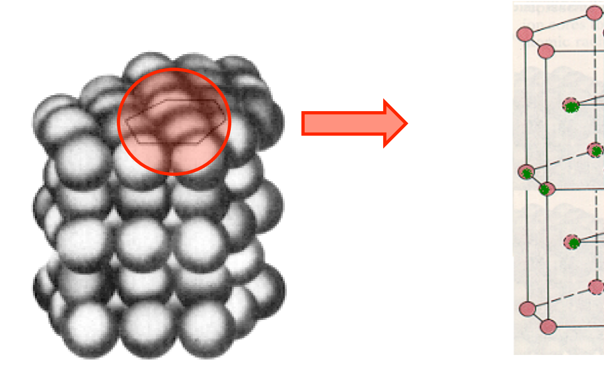
Nombre de coordination (1er voisin) : 12

Compacité (C) $C=\frac{Volume\ atome\ d'une\ maille\ élementaire}{Volume\ total\ de\ la\ maille\ élémentaire}=\frac{V_s}{V_m}=0.74$

Source: Callister- Materials Science and Engineering



Structure hexagonale compacte (HC)



Nombre d'atomes par maille $12 * \frac{1}{6} + 2 * \frac{1}{2} + 3 = 6$

Nombre de coordination (1er voisins) : 12

Compacité (C) $C = \frac{Volume\ atome\ d'une\ maille\ élementaire}{Volume\ total\ de\ la\ maille\ élémentaire} = \frac{V_s}{V_m} = 0.74$

Source: Callister- Materials Science and Engineering



Exercice

EXERCICE 3-8

Considérez la structure cristalline du chlorure de césium **CsCl** (fig. 3.23b du livre « *Des Matériaux* »).

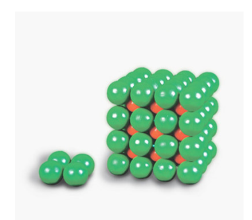
a) Calculez la compacité de cette structure cristalline.

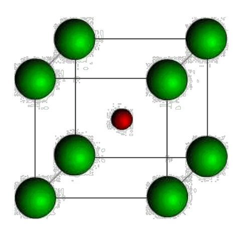
b) Quel est le réseau de Bravais de ce cristal ?

c) Calculez la masse volumique théorique (en g/cm^3) du **CsCl**.

Données :

	Cs	Cl
Masse atomique (g/mole)	132,9	35,5
Rayon ionique (nm)	0,165	0,181





Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux

http://www.a3bs.com/Chlorure-de-cesium-T22015

http://chimie.scola.ac-paris.fr/sitedechimie/chi_inorg/cristallo/reso_ionic.htm

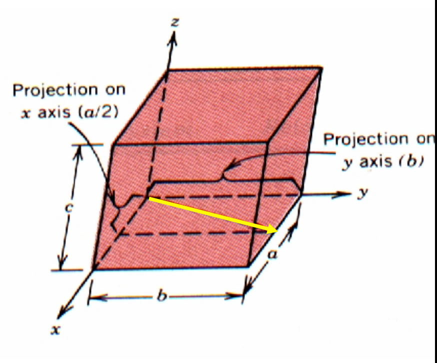


Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



Directions cristallographiques



	x	y	z
projections	$\frac{1}{2}$ a	1 b	0 c
Projections en a,b e c	$\frac{1}{2}$	1	0
Réduire à minima entiers	1	2	0
notation	[120]		

Une direction cristallographiques est un vecteur qui unit deux points d' un réseau cristallin

Comment faire?

Faire passer le vecteur par l' origine, determiner la projection du vecteur sur les trois axes

Projections en a, b, et c

Réduire à des minima entiers

Donner la direction entre crochets [uvw]

Source: Callister- Materials Science and Engineering



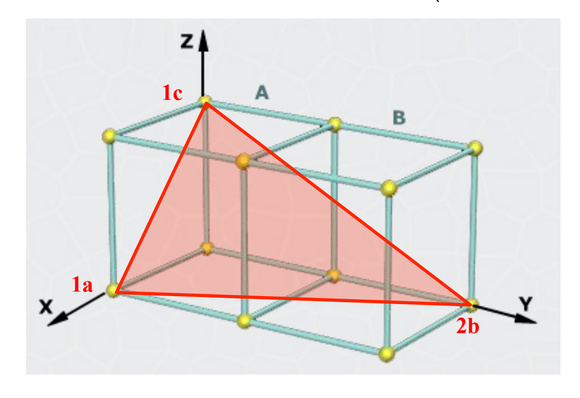
MEC-200

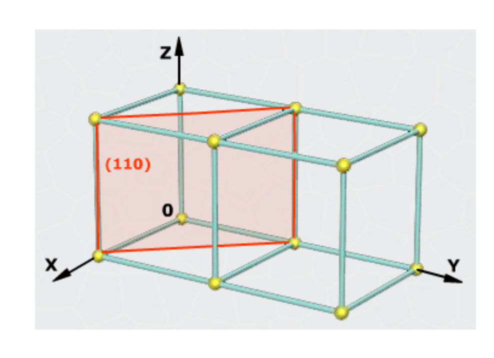
Plans cristallographiques

Indice de Miller

Méthode pour définir les directions et les plans

	x	y	z	x	y	z
1- Intersections	1	2	1	1	1	∞
2- Inverser	1/1	1/2	1/1	1/1	1/1	$1/\infty = 0$
3- Réduire au plus petit dénominateur	2	1	2	1	1	0
4- Indice Miller	(2	1	2)	(1	1	0)

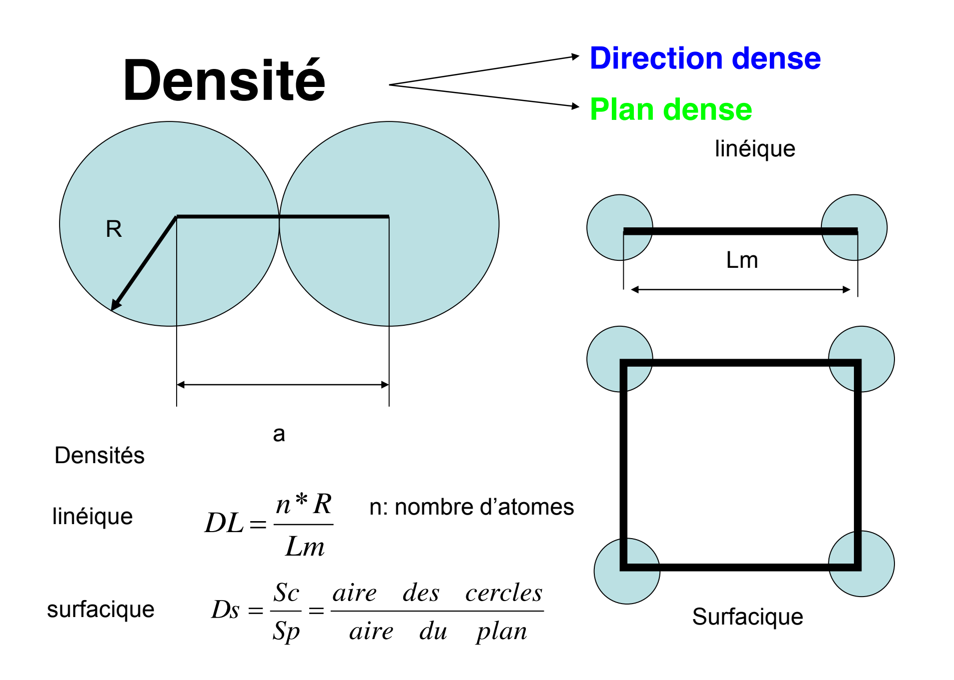






MEC-200

Pourquoi est-ce important?



Densités

linéique $DL = \frac{n * R}{Lm}$ n: nombre d'atomes

surfacique $Ds = \frac{Sc}{Sp} = \frac{aire \quad des \quad cercles}{aire \quad du \quad plan}$



MEC-200

Pourquoi est-ce important?

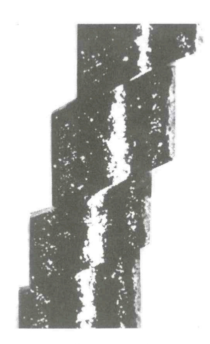


Figure 4.10 Déformation plastique par glissement (monocristal de zinc).

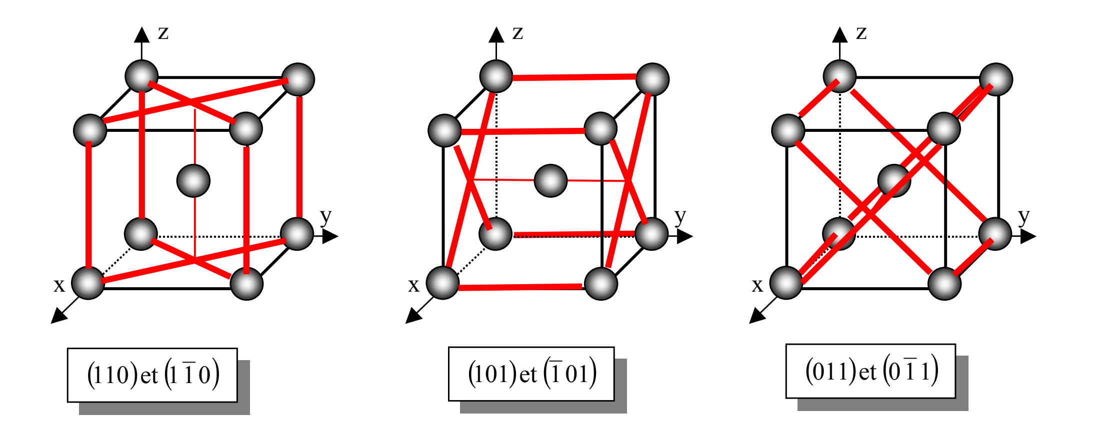
Il peut être montré que les systèmes de glissements se feront sur les plans et direction les plus denses
Plus il y aura de systèmes de glissement, plus les matériaux seront ductiles.

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



MEC-200

Structure cubique à corps centré



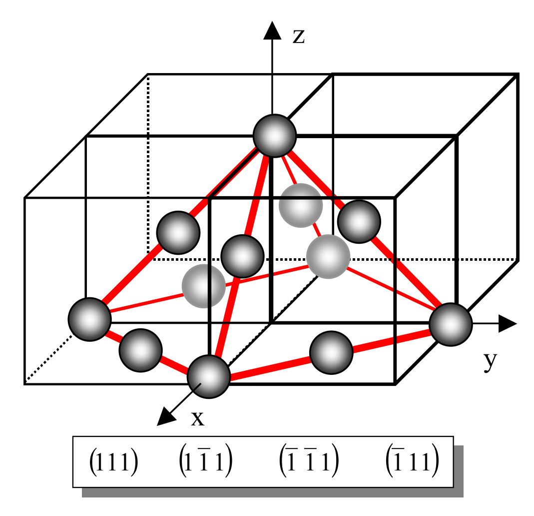
12 systèmes de glissement

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux Exercice 3-11



MEC-200

Pourquoi est-ce important?



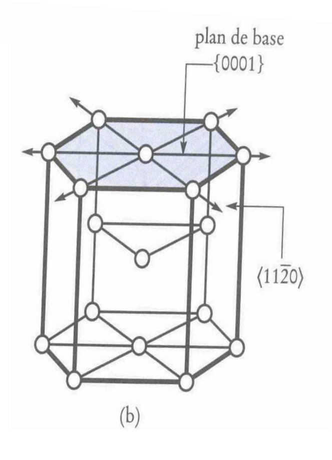
12 systèmes de glissement

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



MEC-200

Pourquoi est-ce important?



4 systèmes de glissement

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



Tableau des structures cristallines à Température ambiante

Li BCC	Be HCP											B	C DIA	N HEX	O CUB	F MON	Ne FCC
Na BCC	Mg HCP											Al FCC	Si DIA	P CUB	S ORH	Cl TET	Ar FCC
K BCC	Ca FCC	Sc HCP	Ti HCP	V BCC	Cr BCC	Mn CUB	Fe BCC	Co FCC	Ni FCC	Cu FCC	Zn HCp	Ga	Ge DIA	As RTM	Se HEX	Br ORH	Kr FCC
Rb BCC	Sr FCC	Y HCP	Zr HCP	Nb BCC	Mo BCC	Tc HCP	Ru HCP	Rh FCC	Pd FCC	Ag FCC	Cd HCP	In	Sn DIA	Sb RHM	Te HCP	I ORH	Xe FCC
Cs BCC	Ba BCC	La HEX	Hf HCP	Ta BCC	W BCC	Re HCP	Os HCP	Ir FCC	Pt FCC	Au FCC	Hg	Tl HCP	Pb FCC	Bi RHM	Po CUB	At	Rn FCC

BCC: cubique à corps centré: CC
FCC: cubique à faces centrées: CFC
HCP: Hexagonale compacte: HC

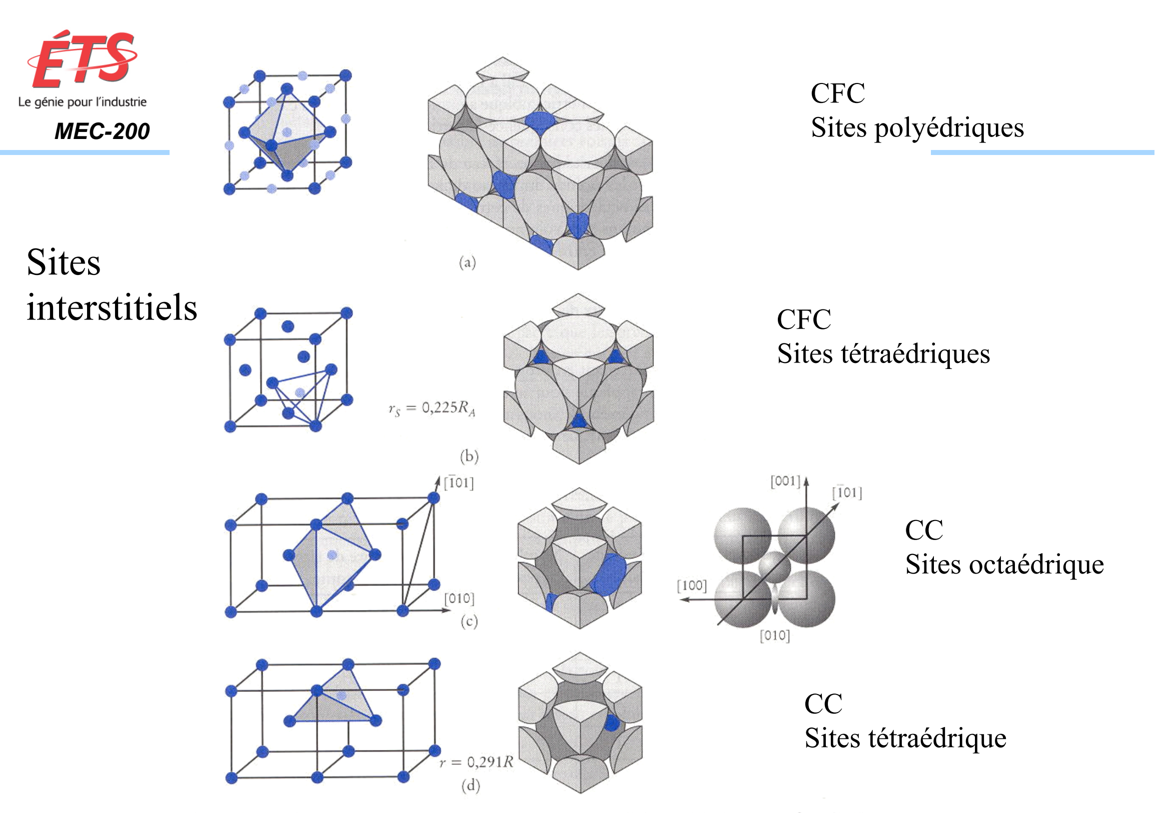


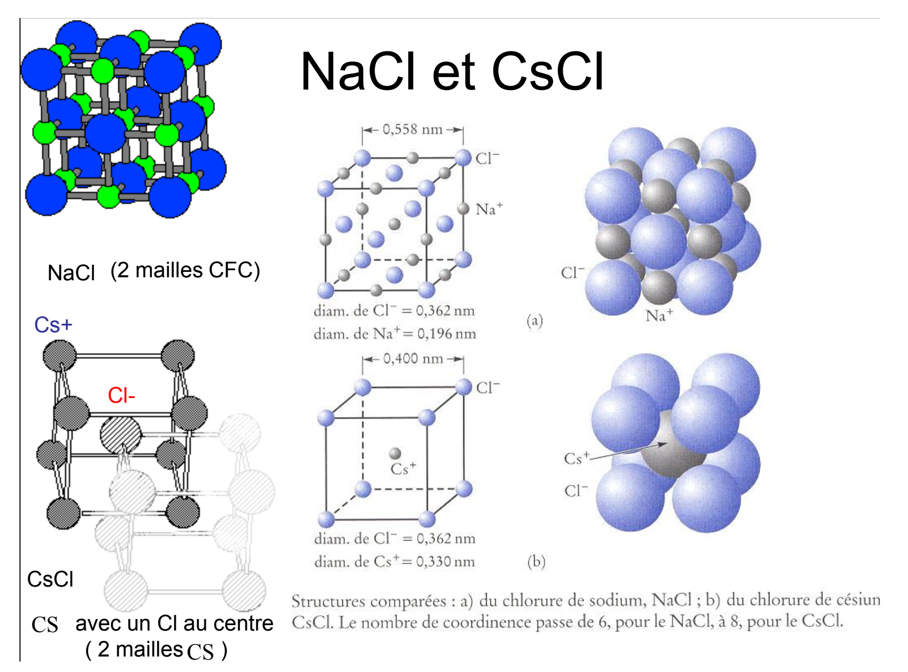
Figure 3.16 Sites interstitiels : a) structure c.f.c., site octaédrique ; b) structure c.f.c., site tétraédrique ; c) structure c.c., site octaédrique ; d) structure c.c., site tétraédrique.

Source: J.P Bailon, J.M. Dorlot, Des matériaux



MEC-200

Maille des composés ioniques



Structures comparées : a) du chlorure de sodium, NaCl ; b) du chlorure de césiun CsCl. Le nombre de coordinence passe de 6, pour le NaCl, à 8, pour le CsCl.

Source: Baïlon et Dorlot, Des Matériaux



MEC-200

Allotropie

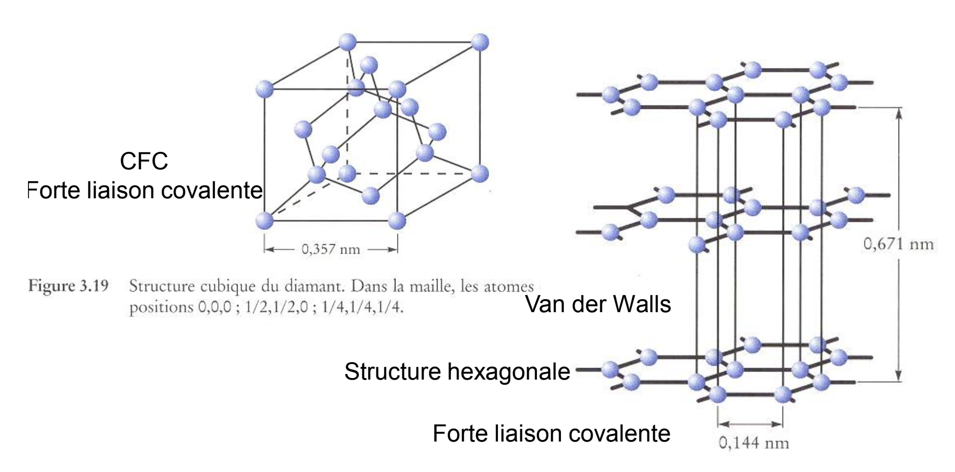


Figure 3.19 Structure cubique du diamant. Dans la maille, les atomes positions 0,0,0 ; 1/2,1/2,0 ; 1/4,1/4,1/4.

Figure 3.20 Structure hexagonale du graphite.

Source: Baïlon et Dorlot, Des Matériaux



MEC-200

Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

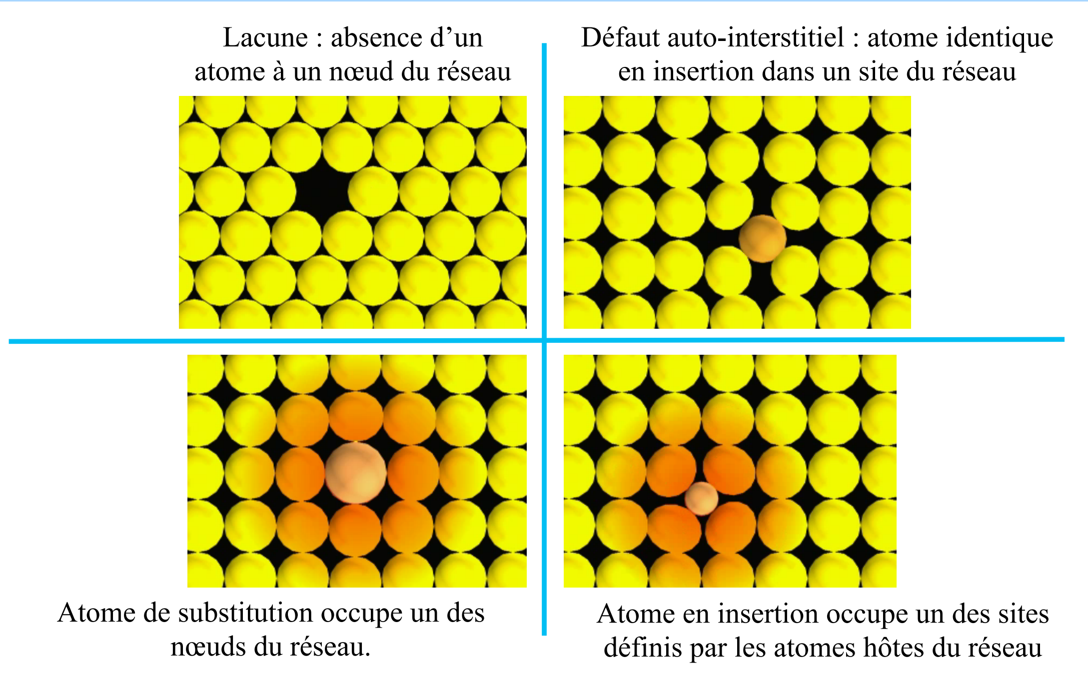
Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

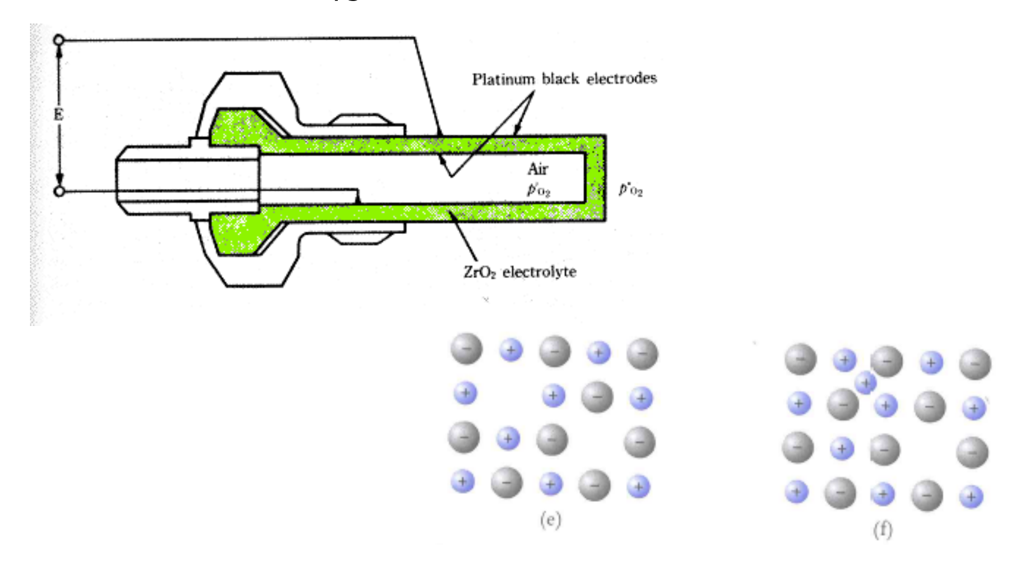
Les défauts ponctuels





Importance des défauts ponctuels: Exemples

- Matériaux principaux: $ZrO_2(O_2)$, ZnO, SnO_2, Fe_2O_3 (H_2O)
- Détecteur d' oxygêne dans les automobiles



Source: Des Matériaux, JP Bailon, JM Dorlot
Source: Science et Génie des Matériaux W.D. Callister

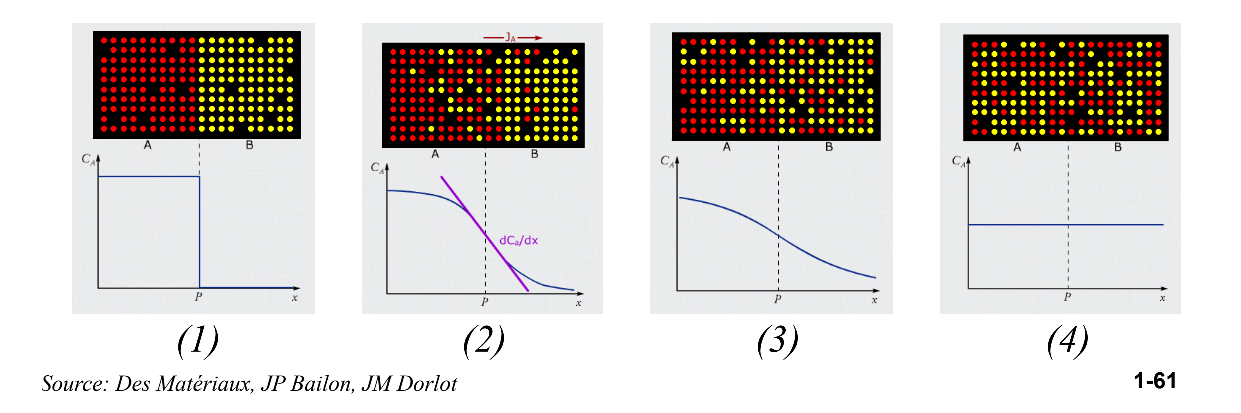


Importance des défauts ponctuels: Exem

La diffusion est possible grâce à la présence de ***lacunes*** *(défauts ponctuels)*

Au cours du temps, le profil de concentration des éléments se modifie

Le flux d'atomes A diffusant dans B peut être défini par :



(1) *(2)* *(3)* *(4)*

Source: Des Matériaux, JP Bailon, JM Dorlot

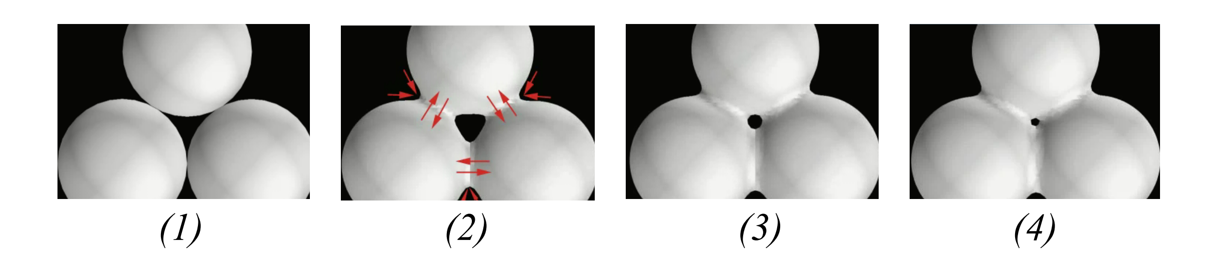


Applications de la diffusion

Traitements thermiques

Soudage et brasage

Frittage *: Établissement de liaisons entre des particules de poudres portées à haute température par diffusion en volume et en surface*



(1) *(2)* *(3)* *(4)*

Source: Des Matériaux, JP Bailon, JM Dorlot



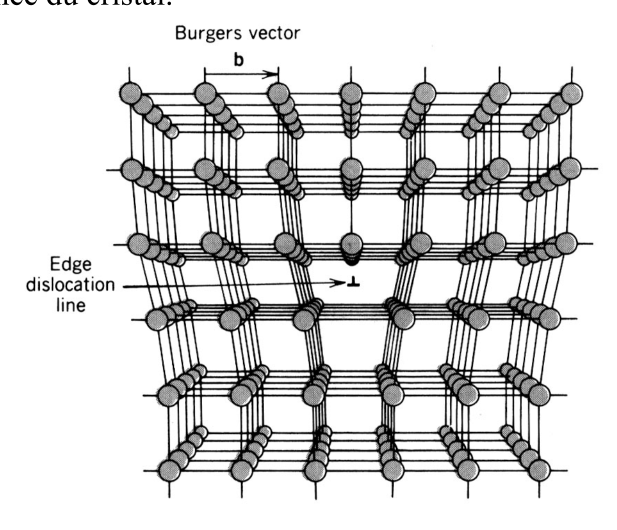
Plan du cours

- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



Dislocations

- Une dislocation est l'introduction d'un demi-plan supplémentaire.
- C'est un défaut linéaire qui définit la frontière entre une région déformée et non-déformée du cristal.



Source: Calister- Science des matériaux



Dislocations

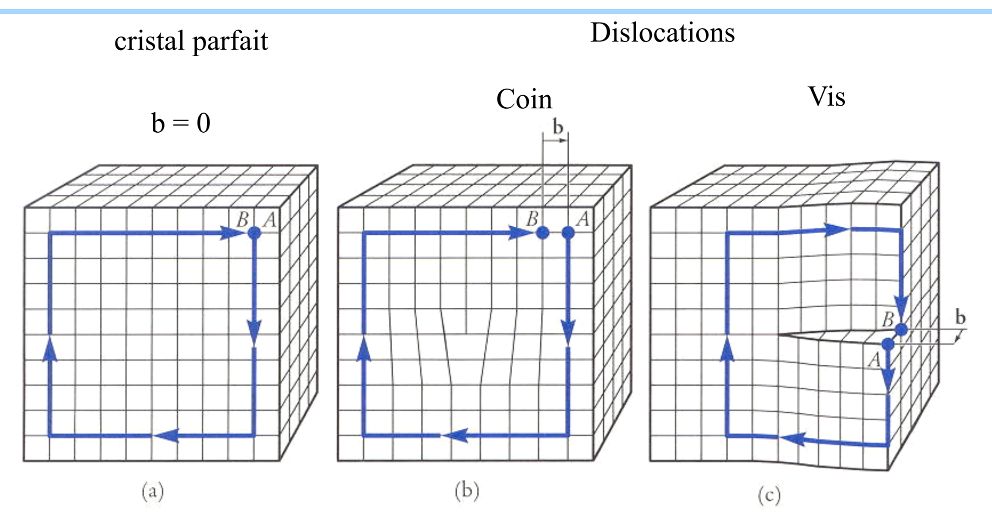
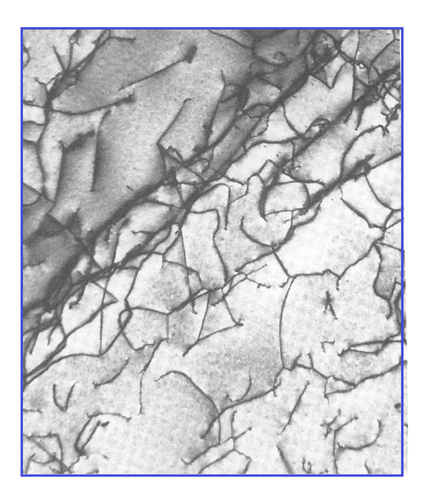


Figure 3.29 Détermination du vecteur de Burgers : a) dans un cristal parfait, le circuit se referme ; b) autour d'une dislocation-coin, le même circuit aboutit au point *B*, et le défaut de fermeture *BA* est le vecteur de Burgers, perpendiculaire à la ligne de dislocation ; c) le défaut de fermeture *BA* autour d'une dislocation-vis est parallèle à la ligne de dislocation.

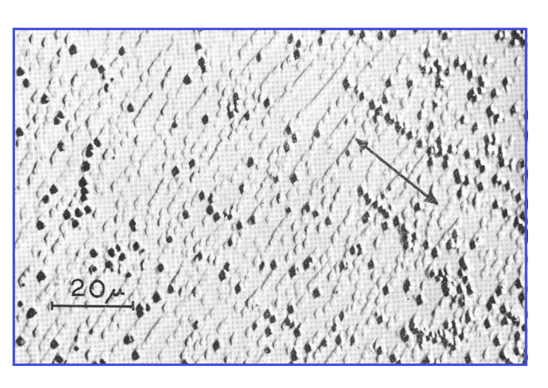


Dislocations



Microscopie de transmission

On voit les dislocations



Microscopie optique d' un alliage de cuivre

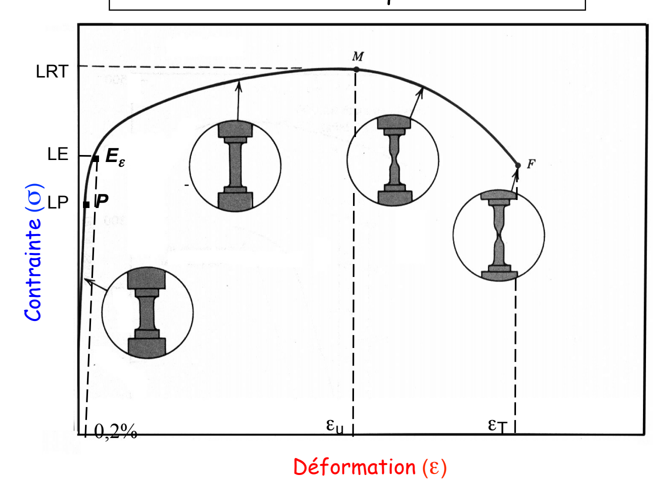
Corrosion

Rappels: déformation plastique

Le génie pour l'industrie

MEC-200

Contrainte (σ) vs Déformation (ε)
matériau metallique ductile



Déformation (ε)

$\sigma = F / A_o$

$\varepsilon = (l - l_o) / l_o = \Delta l / l_o$

A_o: section transversale
F: force appliquée
l : longueur échantillon déformé
l_o: longueur iniciale

- O- P déformation élastique réversible
- P à F déformation plastique permanente
  - De P à M homogène
  - de M à F striction
- F: Rupture

- Tension au point E_ε: Limite d´élasticité ($R_{e0,2}$).
- Tension au point M: Résistance à traction (R_m).

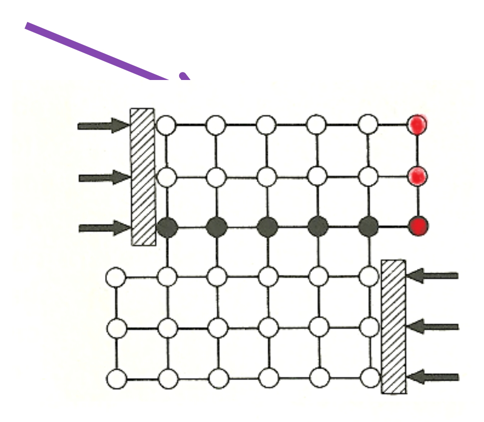
Rappels: déformation plastique

Le génie pour l'industrie

MEC-200

La déformation plastique se fait par déplacement des dislocations

Dislocation coin



Sous l´action de la cission la dislocation bouge progressivement dans le crystal

Si le déplacement des dislocations est difficulté le matériau deviendra plus dur

Source: Calister- Science des matériaux

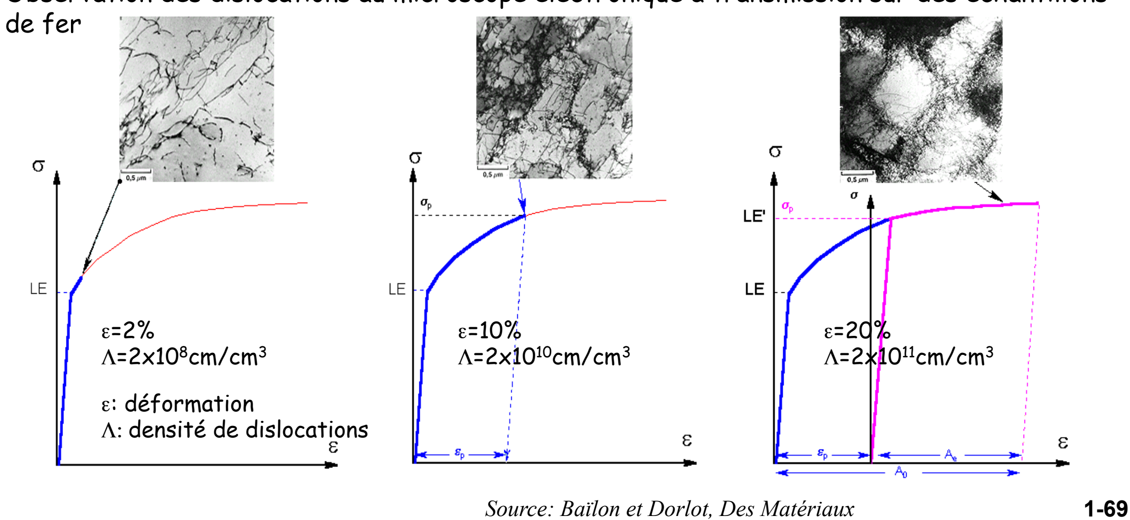


MEC-200

Travail à froid - écrouissage

Au cours de la déformation plastique les dislocations se déplacent et se multiplient, forment des empilements, des noeuds et leur mouvement est de plus en plus difficile
Il faut donc une contrainte plus élevée pour que les dislocations se déplacent et pour une nouvelle déformation plastique

Observation des dislocations au microscope électronique à transmission sur des échantillons de fer



Source: Baïlon et Dorlot, Des Matériaux



MEC-200

Plan du cours

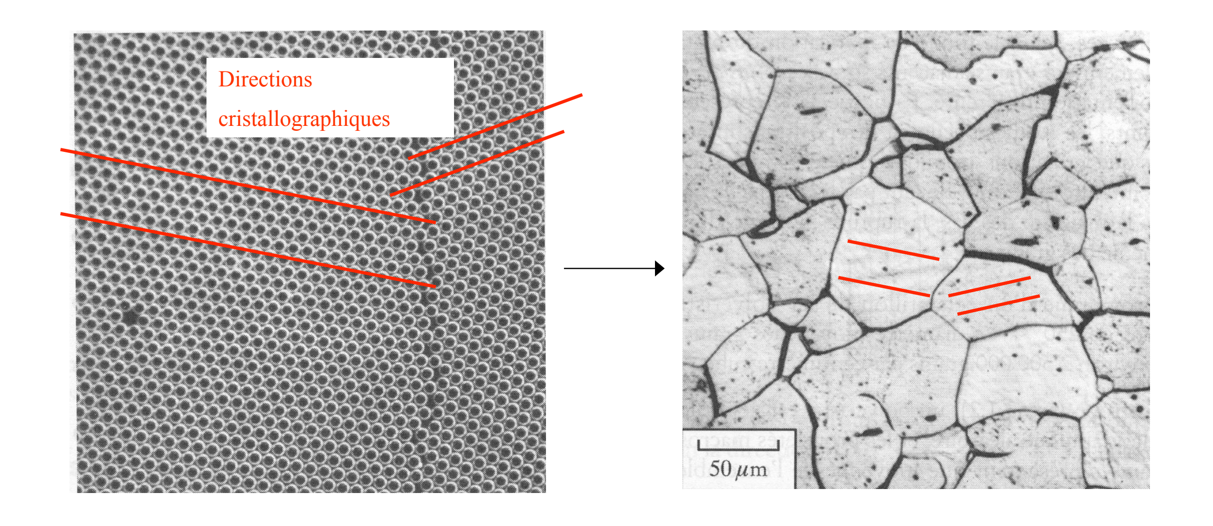
- Liaisons chimiques
  - Différents types
  - Propriétés qui en dépendent
  - Liaisons dans les différents matériaux
- Structures cristallines et amorphes
  - Différents types
  - Directions et plans cristallins
- Défauts dans les cristaux
  - Défauts ponctuels
  - Dislocations
  - Défauts à trois dimensions



MEC-200

Joints de grains

Surface d'accolement des grains



Source: Baïlon et Dorlot, Des Matériaux

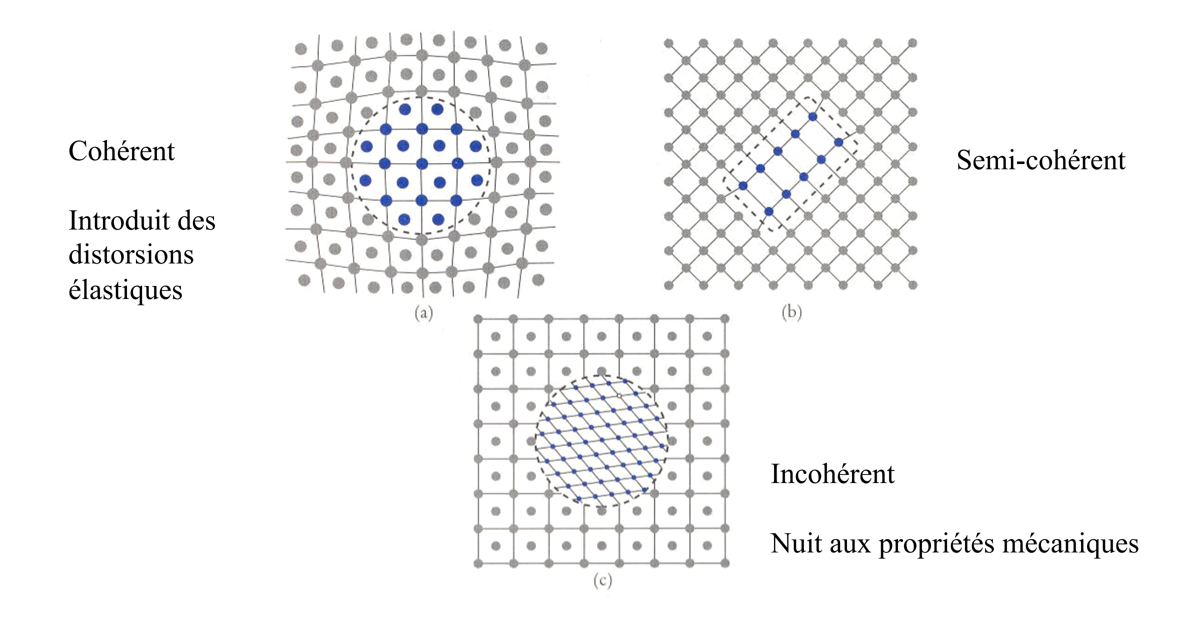


MEC-200

précipités et inclusions (saletés)

Cohérent

Introduit des distorsions élastiques



Semi-cohérent

Incohérent

Nuit aux propriétés mécaniques

Source: Calister- Science des matériaux



Amélioration des propriétés

Tout ce qui bloque le mouvement des dislocations augmente la résistance élastique (R_e) d'un matériau



MEC-200

Très important

